

Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2025. Т. 33, № 3
Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics. 2025;33(3)

Научная статья
УДК 530.182

DOI: 10.18500/0869-6632-003148
EDN: CMDASL

Упрощенные модели для описания многозадачных режимов в живых распознающих системах

А. А. Головина¹, В. Г. Яхно^{1,2}✉

¹Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского, Россия

²Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
им. А. В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия
E-mail: alinagolovina88@mail.ru, ✉yakhno@ipfran.ru

Поступила в редакцию 13.04.2024, принята к публикации 31.10.2024,
опубликована онлайн 4.12.2024, опубликована 30.05.2025

Аннотация. Цель настоящего исследования — рассмотреть возможности и создать версии упрощенных языков, описывающих разнообразие динамических режимов при попеременном выполнении нескольких задач, которые могут быть использованы для адекватного описания экспериментально регистрируемых вариантов поведения живых систем в таких ситуациях. **Методы.** Исследование проведено с использованием физической методологии, основанной на качественном анализе возможных решений, и подтверждено результатами вычислительных экспериментов. Для качественного описания версий возможных механизмов переключения между динамическими режимами функционирования живых систем в ситуациях, предоставленных средой для этих систем (выраженных через изменение эмоциональных или энергетических состояний), использовалась наиболее простая базовая модель. Модель включает два балансных уравнения, соответствующих либо первой, либо второй решаемой задаче. Для данной системы строится двумерное фазовое пространство, позволяющее отслеживать характерные изменения траекторий движения изображающих точек в системе нуль – изоклин, которые зависят от управляющих параметров. Рассматриваются различные траектории изображающих точек в зависимости от начальных условий и наглядно демонстрируются основные режимы переходных процессов в развивающейся системе. **Результаты и обсуждение.** Проведена классификация динамических режимов в системе в зависимости от управляющих параметров. Такие динамические режимы составляют основу для упрощенных языков описания. Предложенная упрощенная математическая модель позволила рассмотреть широкий спектр состояний и разнообразные виды её эволюционных изменений в полном соответствии с известными примерами режимов поведения живых систем.

Ключевые слова: нейроноподобные модули, балансные уравнения, многозадачность, математическое моделирование.

Благодарности. Работа профинансирована Министерством науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ИПФ РАН, проект № FFUF-2024-0037.

Для цитирования: Головина А. А., Яхно В. Г. Упрощенные модели для описания многозадачных режимов в живых распознающих системах // Известия вузов. ПНД. 2025. Т. 33, № 3. С. 361–380. DOI: 10.18500/0869-6632-003148. EDN: CMDASL

Статья опубликована на условиях Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Simplified models for describing multitasking modes in living recognition systems

A. A. Golovina¹, V. G. Yakhno^{1,2}✉

¹National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia

²Federal Research Center A. V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics
of the RAS, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: alinagolovina88@icloud.com, ✉yakhno@ipfran.ru

Received 13.04.2024, accepted 31.10.2024, available online 4.12.2024, published 30.05.2025

Abstract. The purpose of this study is to explore the possibilities and create versions of simplified languages that describe the variety of dynamic modes during the alternating execution of multiple tasks. These languages can be used for an adequate description of experimentally recorded variants of behavior in living systems under such conditions. *Methods.* The study was conducted using a physical methodology based on qualitative analysis of possible solutions and confirmed by the results of computational experiments. To qualitatively describe the versions of possible mechanisms for switching between dynamic modes of operation of living systems in situations presented by the environment for these systems (expressed through changes in emotional or energy states), the simplest basic model was used. This model includes two balance equations corresponding to either the first or the second solvable problem. For this system, a two-dimensional phase space is constructed, allowing for tracking characteristic changes in the trajectories of the representing points in the null – isocline system, which depend on the control parameters. Various trajectories of representing points are considered depending on the initial conditions, visually demonstrating the main modes of transitional processes in the developing system. *Results and discussion.* Classification of dynamic modes in the system has been conducted, depending on control parameters. Such dynamic modes form the basis for simplified language descriptions. The proposed simplified mathematical model allowed for the examination of a wide range of states and various types of its evolutionary changes in full accordance with known examples of behavior modes in living systems.

Keywords: neuron-like modules, balance equations, multitasking, mathematical modeling.

Acknowledgements. This work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the state assignment of IPF RAS, project No. FFUF-2024-0037.

For citation: Golovina AA, Yakhno VG. Simplified models for describing multitasking modes in living recognition systems. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2025;33(3):361–380. DOI: 10.18500/0869-6632-003148

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).

Введение

Живая система в норме может реализовывать широкий диапазон возможных состояний, между которыми происходят различные во времени («эпизодические» и эволюционные) многовариантные динамические переключения. При этом существует несколько уровней представления особенностей динамических режимов восприятия и реагирования живых систем. Цель настоящего исследования — рассмотреть возможности и создать версии упрощенных языков, описывающих разнообразие динамических режимов при попеременном выполнении нескольких задач, которые можно использовать для адекватного описания экспериментально регистрируемых вариантов поведения живых систем в таких ситуациях.

В зависимости от выбора конкретных областей функционирования и вида рассматриваемых задач особенности обработки сенсорных сигналов могут быть описаны с помощью упрощенных (редуцированных) базовых моделей распознавания и принятия решений, которые обычно выводятся из моделей, аналогичных схемам П. К. Анохина [1–3]. Модули разных уровней в иерархических модельных архитектурах собираются в единую функциональную систему таким образом, чтобы можно было достигать поставленных перед системой целей. Кроме того, в живых системах

имеются модули управления, которые обеспечивают переключение между различными важными для неё целями. Соответственно, для их достижения происходит управление выполнением операций по решению необходимых задач.

В данной работе проведено рассмотрение одной из версий вывода редуцированных моделей [4–17]. Важно отметить, что, следуя этапам физической методологии исследований [14, 17], удастся из потенциальной многовариантности модельных описаний выбрать наиболее подходящий режим для сравнения с описываемыми экспериментальными данными [4–17]. Ранее было показано [12, 13], что такой язык упрощенного модельного описания оказался адекватным для большого числа экспериментальных данных, зарегистрированных при обучении детей нескольким языкам (варианты билингвизма). Обсуждение этих результатов с заинтересованными исследователями позволило выдвинуть гипотезу о плодотворности такого модельного описания и для более широкого спектра областей многозадачного функционирования живых систем.

Таким образом, в настоящем исследовании рассматриваются возможности создания версий упрощенных языков, описывающих разнообразие динамических режимов в иерархически организованных распознающих системах, которые попеременно ориентированы на реализацию разных задач. Для доказательства адекватности описания используются некоторые примеры «стандартных» жизненных ситуаций, взятых из некоторых литературных произведений. Проводится сравнение модельных результатов и описание жизненного опыта в произведении. В частности, используются фрагменты из литературного произведения «Унесённые ветром» М. Митчелл [18]. В них прослеживаются процессы выбора приоритетов среди мировоззренческих позиций или стереотипов, используемых героиней при бессознательной опоре на ряд уровней обобщенных средств управления. Для качественного описания механизмов переключения между динамическими режимами функционирования живых систем в предоставленной среде для этих систем ситуациях (эмоциональных или энергетических условиях) использовалась наиболее простая базовая модель из двух уравнений. При необходимости рассмотрения иерархических взаимодействий число балансных уравнений возрастает. Временные режимы получены на основе вычислительных экспериментов.

Статья состоит из трех частей, каждая из которых имеет свою цель и логику развития. Первая часть посвящена важному аспекту нашего исследования — аксиоматическим положениям, представляющим собой набор интерпретаций экспериментальных результатов [19–22]. На основе принятых исследователем аксиом конструируется одна из множества возможных версий формализованных описаний для будущего упрощенного языка [4–17].

Во второй части представлен один из множества способов перехода от сложных (и поэтому многозначно трактуемых) схем — «образов» — к версиям балансных уравнений, соответствующим выбранным аксиоматическим положениям. Эти уравнения позволяют определить требования к областям функционирования изучаемой системы. Другими словами, визуализация условий перехода играет ключевую роль в понимании экспериментальных условий, при которых можно эффективно использовать решения, полученные из этих уравнений. Это важно для определения областей их адекватного применения.

В третьей части используются стандартные методы анализа решений дифференциальных уравнений, позволяющие получить спектр новых динамических режимов. До сих пор, по нашему мнению, изучению особенностей динамики многозадачных режимов не уделялось достаточного внимания.

Предлагаемый подход позволяет исследователям формировать свои версии концепций, выделяющих наиболее значимые фрагменты из огромных объемов экспериментальных данных. Это необходимо для создания упрощенных формализованных описаний на основе принятых базовых моделей. Результаты сопоставления экспериментальных данных с динамическими режимами, полученными из базовых моделей, подтверждают адекватность формализованного описания.

Обоснованность вывода упрощенных (базовых) моделей опирается на использование другого набора экспериментальных данных об основных элементах и устройстве их связей в живых системах, которые также принимаются в качестве аксиом.

1. Элементы методики описания сложных природных систем

Рассмотрим основные элементы в процедуре формирования упрощенных (редуцированных) моделей из многообразия иерархических взаимосвязей разных уровней, основанных на большом объеме экспериментальных данных. Физическая методология исследований содержит следующие этапы [14–17]: формулировка аксиом; выбор наиболее адекватных переменных и базовых моделей; нахождение спектра возможных решений; контроль требований по минимизации ошибки между выбираемыми решениями и описываемыми экспериментальными данными. Основные особенности когнитивных систем связаны с большим разнообразием режимов их функционирования. Это объясняется тем, что сигналы от внешних воздействий, а также внутренние сигналы управления обрабатываются с помощью трех групп алгоритмов, ориентированных на:

- 1) «образные» представления;
- 2) «логические, инженерно-ориентированные» описания и технические реализации;
- 3) широкий спектр конструкторов, возникающих из совместного использования алгоритмов из первой и второй групп [17].

1.1. Исходные варианты аксиоматических схем для описания живых систем. Опыт работы исследователей, разрабатывающих разнообразные модели для описания живых систем, позволяет аксиоматически разделить их многообразие на несколько классов [4–22]. Например:

a — модели 1-го уровня — ориентированы на описание прямых процессов преобразования исходного сигнала в требуемый выходной сигнал без включения автономных настроек. К ним относятся преобразования, формирующие наборы элементарных признаков, детекторы заранее заданных сигналов, а также упрощенные смысловые модели, демонстрирующие характерные качественные режимы более сложных имитационных моделей;

b — модели 2-го уровня — имитируют живые прототипы с помощью простейших путей преобразования внешних и внутренних сигналов. Они ориентированы на формирование наборов из элементарных операций принятия решений с использованием автономных циклов настроек, а также демонстрационных примеров элементарных психологических режимов реагирования живых распознающих модулей;

c — модели 3-го уровня — имитируют живые прототипы через иерархические связи и многообразие преобразований внешних и внутренних сигналов. Модели ориентированы на описание высших уровней поведения (психологических режимов) в сложной архитектуре систем из иерархии распознающих модулей.

Если имитационные модели 2-го и 3-го уровней можно редуцировать до моделей 1-го уровня, тем самым демонстрируя динамику ряда поведенческих режимов прототипа, то вновь полученные модели 1-го уровня называют смысловыми моделями (напр., см. [4, 12, 13]). В соответствии с целью данной статьи далее будет продемонстрирована одна из реализаций (из множества возможных версий [14–27]) описания ряда динамических режимов моделей 3-го и 2-го классов в рамках моделей 1-го класса.

В качестве отправной точки на пути перехода к упрощенным моделям воспользуемся схемой базового распознающего модуля рис. 1 с основным циклом обработки, выделенным из известной схемы П. К. Анохина [1–3] (в ней было предложено три таких цикла). Важно отметить, что распознающая система рис. 1 может осознавать внутреннюю интерпретацию входного сенсорного сигнала, которая соответствует последнему наилучшим образом. Таким образом, моделирование

систем, связанных с описанием различных сценариев поведения (в соответствии с Э. Берн [21]): «учитель», «взрослый», «ребёнок».

Живая система может осознавать информационные сигналы из интегрального потока, которые пропускает фильтр на входе модуля «Я – ЭГО». В интегральной иерархической системе оптимизационные процессы анализа прошлых ошибочных решений могут восприниматься в блоке «Я – ЭГО» как в сознательном, так и в бессознательном режимах. При этом анализ прошлых ошибочных решений из эпизодической памяти происходит в сознательном режиме. Управление, задаваемое из блока планирования (ближайшего «Я – ЭГО»), указывает, какие алгоритмы k_i из множества рассматриваемых задач следует использовать. Например, в простейшем случае с двумя задачами — k_1 и k_2 .

Данные физиологических экспериментов указывают, что в живых системах управление осуществляется с помощью как минимум четырех видов внутренних информационных сигналов [22]. Нейроноподобные модули, управляющие этими сигналами, взаимодействуют друг с другом так, как показано на рис. 2. Особенности управления обработкой сигналов правой и левой половинками мозга (см., например, [27]) в данной работе учитываться не будут. В дальнейших исследованиях такое управление можно будет учесть в особенностях сигналов со стороны блока «Я – ЭГО».

В основе рассмотрения нейроноподобных механизмов лежат циклические процессы, известные как информационные, моторные, вегетативные и эмоциональные циклы. Такие циклы необходимы для сопоставления ожидаемого (эталонного) сигнала с поступившим на вход сигналом (характерные времена обработки разного вида внутренних управляющих сигналов могут варьироваться и зависят от типа, целей и условий выполняемых задач). Степень рассогласования между этими сигналами формирует мотивацию и потребности рассматриваемой системы.

а) *Информационный модуль* отвечает за формирование моделей и принятие решений на основе информационных сигналов, поступающих из различных информационных каналов (характерные времена срабатывания обычно от долей секунды до минут). К известным сенсорным каналам в живых системах относятся зрительная система, слуховая система, кожная и вкусовая системы, обонятельная система, а также интерорецепция и вестибулярная система.

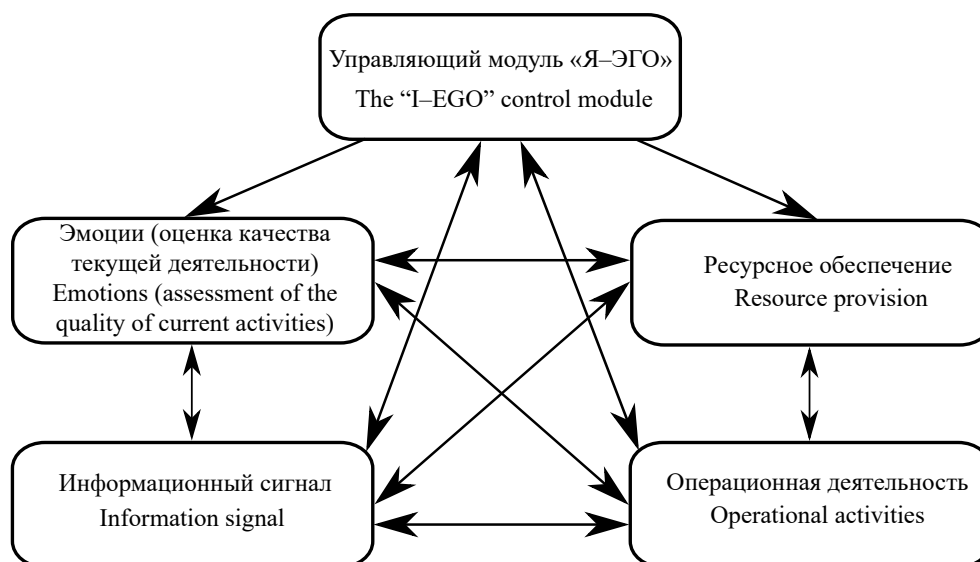


Рис. 2. Архитектура управляющего блока «Я-ЭГО»

Fig. 2. The architecture of the "I-EGO" control unit

б) *Операционная деятельность* управляет функциональным состоянием исполнительных механизмов и контролирует работу мышечной системы (характерные времена срабатывания от секунд до нескольких минут). Это включает в себя выполнение конкретных операций, координацию движений, регуляцию работы мышц и другие процессы, необходимые для выполнения задач и реагирования на внешние воздействия. Операционная (мышечная) деятельность играет ключевую роль в обеспечении выполнения различных функций живых организмов.

с) *Эмоциональная система* осуществляет вычисление интегральных оценок для состояний или выполняемых операций модулей, используя шкалы «комфорт-дискомфорт», «сила-слабость» и другие подобные параметры. Характерное время формирования таких оценок обычно может варьироваться от секунд до нескольких минут, иногда часов.

д) *Ресурсное обеспечение* отвечает за управление уровнями энергетического обеспечения, управляет вегетативный модуль. Характерные времена изменения уровней энергообеспечения могут находиться в диапазоне от десятков секунд до нескольких часов, а иногда и месяцев или лет.

Функционирование многомодульных систем определяется сценарием, который учитывает опыт системы и длительности циклов для различных видов внутренних сигналов. Основная цель этого сценария — снижение ошибок между внутренними предсказаниями сигналов и реальным потоком входных сенсорных сигналов.

1.3. Выбор основных переменных и условия перехода к упрощенным уравнениям.

Для концептуального описания и анализа динамических режимов функционирования субъекта в определённой среде используем известный физический подход составления балансных уравнений. В качестве основной характеристики развивающейся системы будем использовать число алгоритмов k_i , необходимых для решения той или иной задачи. Чем большее число алгоритмов смогла сгенерировать система, тем лучше она решает i задачу в заданных для нее условиях функционирования.

Алгоритмы, по определению Ю. И. Александрова [28], представляют собой единицы индивидуального опыта. Интерпретация этого опыта может принимать различные формы в зависимости от подхода исследователей. Некоторые экспериментаторы связывают его с созданием функциональных систем на основе иерархических нейронных сетей, в то время как другие предпочитают представлять процесс фиксации опыта через создание новых «базисных» инструментальных алгоритмов, с помощью которых обрабатываются информационные и управляющие сигналы.

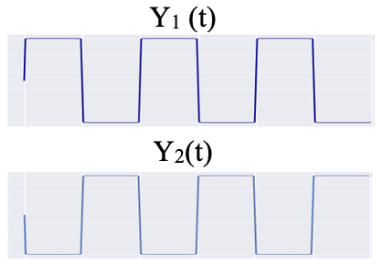
С учетом разнообразия конструируемых алгоритмов для живых систем, их количество может быть весьма значительным. Для упрощения анализа нормируем это количество на максимально возможное и рассмотрим переменную k_i как непрерывную (долю от максимальной величины). Хотя в действительности такие доли имеют дискретный характер, шаг дискретизации можно считать достаточно малым для целей нашего исследования.

Общий вид упрощенной математической модели, описывающей переключения в многозадачных режимах (в соответствии со схемами на рис. 1 и рис. 2), может быть представлен системой дифференциальных уравнений (ДУ) (1):

$$\frac{dk_i}{dt} = Y_i(t) \left(-\frac{k_i}{\tau_{2i}} + \frac{1}{\tau_{1i}} F_0[-T_i(M, U, Q, E) + \gamma_{ii}k_i - \sum_{j \neq i} \gamma_{ij}k_j] \right), \quad (1)$$

где k_i — количество инструментальных алгоритмов, связанных с решением i -й задачи, которым обучилась та или иная система; τ_{1i} — характерное время освоения новых алгоритмов; τ_{2i} — характерное время забывания старых алгоритмов; F_i — ступенчатая функция, соответствующая условиям решения i -й задачи; γ_{ij} — весовые коэффициенты взаимной связи между подсистемами; $T_i(M, U, Q, E)$ — порог запуска алгоритмов обучения в i -й области деятельности;

Таблица. Варианты параметров в упрощенной системе для описания двухзадачных режимов
Table. Options for parameters in a simplified system for describing two-task modes

Управляющие сигналы из модуля «Данные о прошлых и ожидаемых режимах» на рис. 1 или модуля «Я – ЭГО» на рис. 2	
Эмоции и энергетическое влияние дел друг на друга через величины времен и коэффициенты взаимодействия	$T_1; T_2$ $eps; \overline{\gamma_{11}}; \overline{\gamma_{12}}$ $\overline{\gamma_{22}}; \overline{\gamma_{21}}$
Набор алгоритмов, величина которых характеризует жизненный опыт данной системы	$\overline{k_1}/\overline{k_2}$

$Y_i(t)$ — управляющий модуль для i -ой задачи, передающий сигналы от блока «Я – ЭГО» (изменяется в пределах от 0 до 1) и проиллюстрированный для случая двух решаемых задач в Таблице, задан с помощью непрерывных функций (изменяется в пределах от 0 до 1). В уравнениях (1) мы основываемся на экспериментальных данных, показывающих, что для большинства живых систем каждая задача выполняется попеременно в рамках общей многозадачной процедуры. Это можно сформулировать как дополнительную аксиому: если $Y_i(t) = 1$, то $Y_j(t) = 0$ для всех j , не равных i .

$U(t)$, $E(t)$, $Q(t)$ — важные параметры, определяемые эмоциональными, энергетическими и стрессовыми процессами и влияющие на состояние развивающегося субъекта (в рамках данного рассмотрения будем считать их постоянными, но разными в зависимости от ситуации, в которой находится субъект). $M(t)$ представляет собой количество операций, выполняемых активными алгоритмами над образами, воспринятыми из окружающей среды, то есть уровень образного восприятия (мировоззрения) живой системы.

2. Упрощенные балансные уравнения и их решения

Здесь рассмотрим упрощенную ситуацию, когда система попеременно решает только одну из двух рассматриваемых задач. В этом случае от системы из многих ДУ (1) переходим к версии из двух балансных уравнений, также относящихся к классу моделей 1-го уровня.

$$\frac{dk_1}{dt} = Y_1(t) \left(-\frac{k_1}{\tau_{21}} + \frac{1}{\tau_{11}} F_0[-T_1 + \gamma_{11}k_1 - \gamma_{12}k_2] \right), \quad (2)$$

$$\frac{dk_2}{dt} = Y_2(t) \left(-\frac{k_2}{\tau_{22}} + \frac{1}{\tau_{12}} F_0[-T_2 + \gamma_{22}k_2 - \gamma_{21}k_1] \right), \quad (3)$$

где для упрощенного рассмотрения выбраны одинаковые нелинейные функции: $F_0[]$ — ступенчатая функция Хевисайда как для 1-й, так и для 2-й задачи. Типы решений в такой системе зависят от 10 параметров.

2.1. Описание вывода упрощенных балансных уравнений с нормировкой. Выделение уменьшенного числа определяющих параметров обычно осуществляют с помощью процедуры нормировки. Это позволяет упростить анализ и стандартизировать численные расчёты изучаемой системы. Если ввести новые переменные $\bar{k}_1 = \frac{\tau_{11}}{\tau_{21}} k_1$, $\bar{t} = \frac{t}{\tau_{21}}$, $\bar{k}_2 = \frac{\tau_{12}}{\tau_{22}} k_2$ и новые определяющие параметры $\bar{\gamma}_{11} = \gamma_{11} \frac{\tau_{21}}{\tau_{11}}$, $\bar{\gamma}_{21} = \gamma_{21} \frac{\tau_{21}}{\tau_{11}}$, $\bar{\gamma}_{22} = \gamma_{22} \frac{\tau_{22}}{\tau_{12}}$, $\bar{\gamma}_{12} = \gamma_{12} \frac{\tau_{22}}{\tau_{12}}$, $\varepsilon = \frac{\tau_{22}}{\tau_{21}}$, то система (2)–(3) переписывается в виде следующих уравнений:

$$\frac{d\bar{k}_1}{d\bar{t}} = Y_1(\bar{t}) (-\bar{k}_1 + F_0 [-T_1 + \bar{\gamma}_{11}\bar{k}_1 - \bar{\gamma}_{12}\bar{k}_2]), \quad (4)$$

$$\varepsilon \frac{d\bar{k}_2}{d\bar{t}} = Y_2(\bar{t}) (-\bar{k}_2 + F_0 [-T_2 + \bar{\gamma}_{22}\bar{k}_2 - \bar{\gamma}_{21}\bar{k}_1]), \quad (5)$$

где \bar{k}_1 и \bar{k}_2 — нормированное количество инструментальных алгоритмов, которым обучилась та или иная система; F_0 — одинаковая ступенчатая функция Хевисайда для 1-й и 2-й задачи; нормированные величины $\bar{\gamma}_{ij}$ — весовые коэффициенты взаимной связи между подсистемами, которые в зависимости от рассматриваемых ситуаций могут быть как положительными, так и отрицательными; T_1, T_2 — пороги запуска алгоритмов обучения для первой или второй областей деятельности, которые также в зависимости от рассматриваемых ситуаций могут быть как положительными, так и отрицательными; ε определяет соотношение характерных времен изменения \bar{k}_1 и \bar{k}_2 ; $Y_1(\bar{t})$ и $Y_2(\bar{t})$ — управляющие модули, представленные в Таблице, при численных расчетах задавались с помощью непрерывных функций, изменяемых в пределах от 0 до 1. Соответствие параметров из уравнений (4)–(5) экспериментально измеряемым величинам приведено и наглядно демонстрируется в Таблице.

В системе с нормировкой получаемые решения зависят уже только от 7 параметров.

2.2. Инструментарий для анализа решений упрощенных балансных уравнений. Этапы реализуемых режимов в системе уравнений (4)–(5) наглядно видны на рис. 3–5, построенных в двумерном фазовом пространстве (при условии, что $F_0[\cdot] = 0$, если $[\cdot] < 0$ и $F_0[\cdot] = 1$, если $[\cdot] > 0$). Уравнения (6)–(7) для нуль-изоклин получены из уравнений (4)–(5):

$$-T_1 + \bar{\gamma}_{11}\bar{k}_1 - \bar{\gamma}_{12}\bar{k}_2 = 0, \quad \bar{k}_1 = 0, \quad \bar{k}_1 = 1 \quad (6)$$

для первой задачи (рис. 3 слева);

$$-T_2 + \bar{\gamma}_{22}\bar{k}_2 - \bar{\gamma}_{21}\bar{k}_1 = 0, \quad \bar{k}_2 = 0, \quad \bar{k}_2 = 1 \quad (7)$$

для второй задачи (рис. 3 справа).

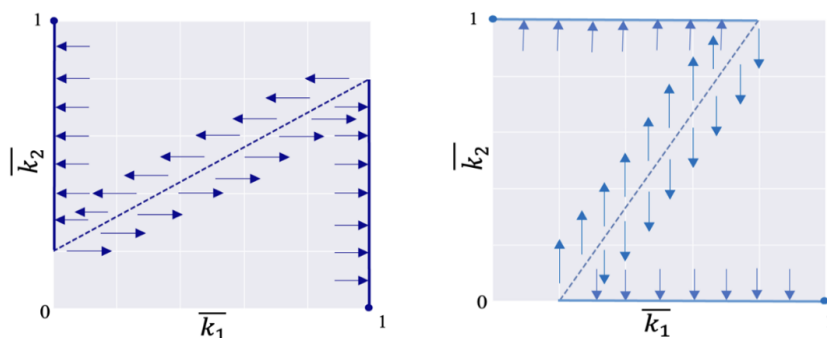


Рис. 3. Разные виды нуль-изоклин для уравнений (6) и (7) при решении первой ($Y_1 = 1$; $Y_2 = 0$) и второй ($Y_1 = 0$; $Y_2 = 1$) задач

Fig. 3. Different types of zero-isoclines for equations (6) and (7) in solving the first ($Y_1 = 1$; $Y_2 = 0$) and second ($Y_1 = 0$; $Y_2 = 1$) problems

Таким образом, для анализа изменений в значениях \bar{k}_1 и \bar{k}_2 используется шесть вариантов нуль-изоклин из уравнений (6) и (7). Четыре из них (устойчивые) задают стороны квадрата двухмерного фазового пространства ($\bar{k}_1 = 0$, $\bar{k}_1 = 1$ и $\bar{k}_2 = 0$, $\bar{k}_2 = 1$), в пределах которого осуществляются различные динамические режимы системы. С двумя другими (неустойчивыми) нуль-изоклинами $-T_1 + \bar{\gamma}_{11}\bar{k}_1 - \bar{\gamma}_{12}\bar{k}_2 = 0$ и $-T_2 + \bar{\gamma}_{22}\bar{k}_2 - \bar{\gamma}_{21}\bar{k}_1 = 0$ из уравнений (6) и (7) возможны операции параллельных переносов или угловых поворотов за счет изменения параметров: T_i , $\bar{\gamma}_{ii}$, $\bar{\gamma}_{ij}$, $\bar{\gamma}_{jj}$, где $i = 1, 2$ и $j = 1, 2$. Тем самым формируются условия для реализации не менее восьми качественно различных динамических режимов изменений \bar{k}_1 и \bar{k}_2 в процессе попеременного выполнения как первой, так и второй задач.

Особенности построения траекторий при движении изображающей точки на фазовой плоскости \bar{k}_1 и \bar{k}_2 показаны на рис. 4. На рис. 4, а на одной фазовой плоскости изображены сразу два типа неустойчивых нуль-изоклин (6) и (7); также показана интегральная траектория решения как для первой, так и для второй задач. На рис. 4, б на фазовой плоскости изображены нуль-изоклины (6), а сплошной линией показаны изменения траектории, соответствующие первой задаче. На рис. 4, с на фазовой плоскости изображены нуль-изоклины (7), а сплошной линией показаны изменения траектории, соответствующие второй задаче.

При переключении с одной задачи на другую и анализе каждого уравнения в отдельности переменная, определяемая из другого уравнения, остается постоянной, что позволяет во время решения одной из задач перевести изображающую точку через неустойчивую нуль-изоклину для нерешаемого в этот момент уравнения.

На рис. 4 на одной фазовой плоскости изображено сразу два типа нуль-изоклин, соответствующих уравнениям (5) и (6). При анализе каждого уравнения в отдельности, другое уравнение не учитывается, что позволяет нуль-изоклинам пересекаться на графике фазовых траекторий. То есть каждая нуль-изоклина имеет своё пространство параметров, никак не пересекающееся с пространством параметров другой нуль-изоклины.

Расчёты на рис. 3 и на рис. 4 проводились при следующих параметрах системы: $T_1 = -10$, $T_2 = -10$, $\bar{\gamma}_{11} = 30$, $\bar{\gamma}_{22} = 30$, $\bar{\gamma}_{12} = 50$, $\bar{\gamma}_{21} = 50$, $\varepsilon = 1$.

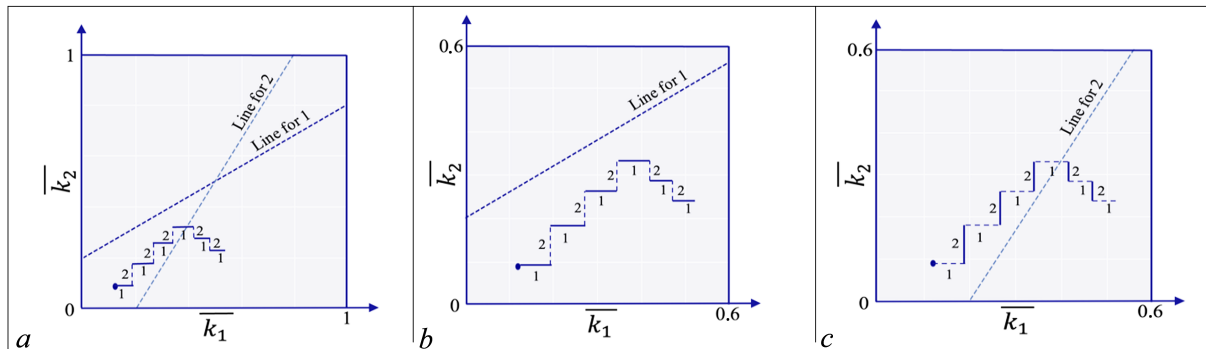


Рис. 4. Двухмерное фазовое пространство, в котором происходит вся динамика развития двух решаемых задач при управляемой процедуре переключений. Этапы обучения первому набору алгоритмов (горизонтальные линии) обозначены цифрой 1, а обучения второму набору алгоритмов (вертикальные линии) цифрой 2; б — изображена одна нуль-изоклина для 1-ого набора алгоритмов; с — изображена одна нуль-изоклина для 2-ого набора алгоритмов, как видно, траектории изображающих точек не пересекают нуль-изоклины, соответствующие решаемым задачам

Fig. 4. A two-dimensional phase space in which all dynamics occur during the controlled switching procedure for solving two tasks. The training stages for the first set of algorithms (horizontal lines) are marked with the number 1, while the training stages for the second set of algorithms (vertical lines) are marked with the number 2; b — One null isocline for the first set of algorithms is depicted; c — One null isocline for the second set of algorithms is depicted, and as we can see, they do not intersect with each other

2.3. Анализ возможных переходных процессов в упрощенной модели. Возможные динамические режимы в данной системе проиллюстрированы далее на рис. 5. Рассмотрим вначале примеры расположения нуль-изоклин и траектории изображающих точек. Для наглядности неустойчивые нуль-изоклины изображены пунктиром.

Опираясь на примеры реализации изменений \bar{k}_1 и \bar{k}_2 в процессе попеременного выполнения первой и второй задач, представленных на рис. 5, выделим восемь качественно различных режимов поведения:

- 1) режим одновременного «развития» — рост числа алгоритмов для обеих задач (в зоне 1);
- 2) «депрессивный» режим — снижение числа алгоритмов для обеих задач (в зоне 2);
- 3) развитие только первой задачи и угнетение второй (в зоне 4);
- 4) развитие только второй задачи и угнетение первой (в зоне 3);
- 5) режимы развития для двух задач переключаются на развитие только первой задачи и угнетение второй (переходы из зоны 1 в зону 4);

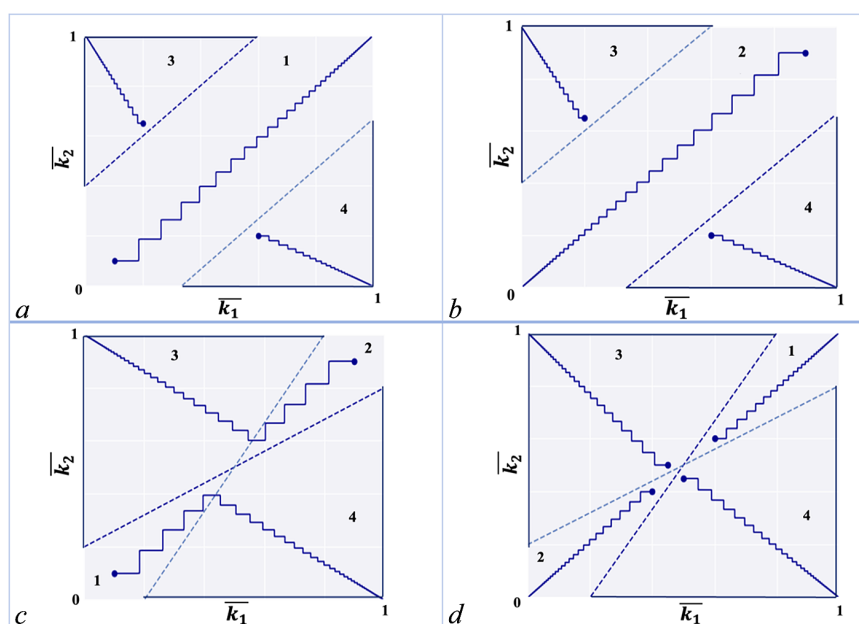


Рис. 5. Четыре типа зон с характерными процессами изменений \bar{k}_1 и \bar{k}_2 . *a* — Оптимальное расположение неустойчивых изоклин с зоной 1, где отсутствуют пороги для двухвариантных режимов развития, $T_1 = -10$; $T_2 = -10$; $\bar{\gamma}_{11} = 30$; $\bar{\gamma}_{22} = 25$; $\bar{\gamma}_{12} = 30$; $\bar{\gamma}_{21} = 25$; $\varepsilon = 1$. *b* — Зона 2 с «депрессивным» эффектом, снижающим развитие систем, находится вдоль центральной оси до верхнего правого угла, $T_1 = 10$; $T_2 = 10$; $\bar{\gamma}_{11} = 30$; $\bar{\gamma}_{22} = 25$; $\bar{\gamma}_{12} = 30$; $\bar{\gamma}_{21} = 25$; $\varepsilon = 1$. *c* — «Депрессивное» состояние (зона 2) находится сверху вдоль оси и ограничивает рост двухвариантных режимов развития (зона 1) внизу вдоль оси, $T_1 = -10$; $T_2 = -10$; $\bar{\gamma}_{11} = 30$; $\bar{\gamma}_{22} = 30$; $\bar{\gamma}_{12} = 50$; $\bar{\gamma}_{21} = 50$; $\varepsilon = 1$. *d* — Зона с оптимальными двухвариантными режимами развития систем (зона 1) находится вдоль центральной оси до верхнего правого угла. «Депрессивное» состояние (зона 2) в нижнем левом углу формирует порог для двухвариантных режимов развития, $T_1 = 10$; $T_2 = 10$; $\bar{\gamma}_{11} = 50$; $\bar{\gamma}_{22} = 50$; $\bar{\gamma}_{12} = 30$; $\bar{\gamma}_{21} = 30$; $\varepsilon = 1$

Fig. 5. Types of zones with characteristic processes of changes in \bar{k}_1 and \bar{k}_2 . *a* — The optimal location of unstable isoclines with zone 1, where there are no thresholds for two-variant modes of development: $T_1 = -10$, $T_2 = -10$, $\bar{\gamma}_{11} = 30$, $\bar{\gamma}_{22} = 25$, $\bar{\gamma}_{12} = 30$, $\bar{\gamma}_{21} = 25$, $\varepsilon = 1$. *b* — Zone 2 with a “depressive” effect, which reduces the development of systems, is located along the central axis up to the upper right corner: $T_1 = 10$, $T_2 = 10$, $\bar{\gamma}_{11} = 30$, $\bar{\gamma}_{22} = 25$, $\bar{\gamma}_{12} = 30$, $\bar{\gamma}_{21} = 25$, $\varepsilon = 1$. *c* — The “depressive” state (zone 2) is located at the top along the axis and limits the growth of two-variant modes of development (zone 1) at the bottom along the axis: $T_1 = -10$, $T_2 = -10$, $\bar{\gamma}_{11} = 30$, $\bar{\gamma}_{22} = 30$, $\bar{\gamma}_{12} = 50$, $\bar{\gamma}_{21} = 50$, $\varepsilon = 1$. *d* — The area with optimal two-variant modes of system development (zone 1) is located along the central axis up to the upper right corner, while the “depressive” state (zone 2) in the lower left corner forms a threshold for two-variant modes of development: $T_1 = 10$, $T_2 = 10$, $\bar{\gamma}_{11} = 50$, $\bar{\gamma}_{22} = 50$, $\bar{\gamma}_{12} = 30$, $\bar{\gamma}_{21} = 30$, $\varepsilon = 1$

- 6) двухвариантные режимы развития переключаются на развитие только второй задачи и угнетение первой (переходы из зоны 1 в зону 3);
- 7) «депрессивный» режим с уменьшением числа алгоритмов для обеих задач переключается на развитие только первой задачи и угнетение второй (переходы из зоны 2 в зону 4);
- 8) «депрессивный» режим с уменьшением числа алгоритмов для обеих задач переключается на развитие только второй задачи и угнетение первой (переходы из зоны 2 в зону 3).

Существование дополнительных режимов переключений, качественно отличающихся от режимов с наиболее очевидным поведением, уже приведенных выше, может быть обусловлено изменением длительности выполнения той или иной задачи.

3. Типы решений, соответствующие эпизоду из литературного произведения «Унесённые ветром»

Обратимся к одному из самых трогательных эпизодов романа «Унесенные ветром» Маргарет Митчелл. В этом моменте начинается Гражданская война в США, и янки (военные союзники Севера) приходят в город. Главная героиня, Скарлетт О'Хара, сидит и слушает звуки, доносящиеся из города, пытаясь унять беспорядочные мысли, которые проносятся у неё в голове [18] (том 1, гл. 23–24).

«Она сидела, прислушиваясь к звукам, долетавшим из города, и вдруг увидела, что небо над верхушками деревьев заалело. Это ее озадачило. Зарево разгоралось у нее на глазах. Из бледно-розового небо стало багровым. И вскоре огромный язык пламени взвился над деревьями. Скарлетт вскочила на ноги. Снова противно заныло и заколотилось сердце. Янки в городе! Они пришли и жгут город. Горело, по-видимому, где-то к востоку от центра. Языки пламени взмывали все выше и выше, множились, захватывали все большее пространство неба перед ее испуганным взором. Похоже было, что горит целый квартал. Теплое дуновение ветра повеяло ей в лицо, принеся с собой запах дыма» [18].

Главная героиня, Скарлетт О'Хара, находится в состоянии паники и страха после того, как янки начали захватывать город. Она осознает, что ей необходимо покинуть Атланту и отправиться в Тару, свое родное поместье. Скарлетт признается Ретту Батлеру, что она напугана и хочет вернуться домой. Ретт предупреждает ее о боевых действиях и опасностях на дороге, но Скарлетт настойчиво стоит на своем решении. Она проявляет свою стойкость и решимость, несмотря на возможные угрозы.

«Она стояла, вся дрожа, и слушала его, но слова почти не доходили до ее сознания. Однако когда он задал свой вопрос, что-то прояснилось у нее в голове, и она внезапно поняла, что на протяжении всего этого злосчастного дня знала, куда ей надо уехать. Только туда.

— Я поеду домой, — сказала она.

— Домой? Вы хотите сказать — в Тару?

— Да, да! В Тару! О, Ретт, нам надо спешить!

Он посмотрел на нее так, словно сомневался, в своем ли она уме.

— В Тару? Бог с вами, Скарлетт! Вы что, не знаете, что под Джонсборо целый день шли бои?

На пространстве в десять миль вдоль дороги, от Раф-энд-Реди вплоть до самого Джонсборо, и даже на улицах города! Янки, может быть, уже орудут в Таре сейчас, а может быть, и во всем графстве. Достоверно никому не известно, где они, но, во всяком случае, где-то там, рядом. Вам нельзя ехать домой. Вы напоретесь прямо на армию янки!

— Нет, я поеду домой! — закричала она, и голос ее сорвался. — Я поеду домой! Вы не можете мне помешать! Я поеду домой! Я хочу к маме! Я убью вас, если вы будете мне мешать! Я хочу домой!

Страшное напряжение этих суток прорвалось наружу истерическими рыданиями, слезы ярости и страха катились по ее лицу. Она замолотила кулаками по его груди, вскрикивая снова и снова:

— Я хочу домой! Домой! Я пойду пешком! Всю дорогу!

И вдруг почувствовала себя в его объятьях — мокрая щека прижата к его крахмальной манишке, усмиренные кулаки притиснуты к его груди. Его руки нежно, успокаивающе гладили ее растрепанные волосы, голос тоже звучал нежно. Так мягко, так нежно, без тени насмешки, словно это был голос не Ретта Батлера, а какого-то совсем незнакомого ей большого, сильного мужчины, от которого так знакомо пахло бренди, табаком и лошадьми — совсем как от Джералда.

— Ну полно, полно, дорогая, — ласково говорил Ретт.

— Не плачьте. Вы поедете домой, моя маленькая храбрая девочка. Вы поедете домой. Перестаньте плакать» [18].

В данном эпизоде романа «Унесенные ветром» одним из основных приоритетов Скарлетт О’Хары является ее собственная безопасность и возвращение на родину в Тару. В первую очередь она испытывает страх за свою жизнь и пытается найти способ спастись от возможной опасности, вызванной пожаром и атакой янки. Для Скарлетт возвращение в Тару представляет собой попытку вернуться к корням, найти поддержку и защиту в родном доме в период исторических потрясений.

Следующим, но не менее важным приоритетом для Скарлетт становится сохранение жизни Мелани и детей. Она проявляет мужество и решимость, чтобы преодолеть преграды и риски на пути к Таре, стремясь обеспечить безопасность своим близким и найти для них убежище от войны. «Щурясь от солнца, она поглядела на Мелани и испуганно ахнула. Мелани лежала так неподвижно и была так бледна, что показалась Скарлетт мертвой. Никаких признаков жизни. Но вот Скарлетт уловила чуть заметный шелест дыхания и поняла, что Мелани удалось пережить эту ночь» [18]. Приоритеты героини отражают её индивидуальный опыт.

В данной ситуации основными приоритетами Скарлетт стали:

- $\overline{k_1}$ — обеспечение своей безопасности через применение соответствующих алгоритмов;
- $\overline{k_2}$ — гарантирование сохранности жизни своих близких при помощи необходимых мер.

Эта ситуация, в зависимости от начального состояния субъекта и расположения нуль-изоклин на плоскости, могла иметь как минимум четыре различных варианта поведения. Рассмотрим соответствующие примеры движения изображающей точки на фазовой плоскости и во времени. Пунктирными линиями изображены пороги переключения для $\overline{k_1}$ и $\overline{k_2}$.

1. Скарлетт, будучи храброй и решительной, сразу осознает опасность и мгновенно переключается на действия. Она быстро собирает необходимые вещи для себя, Мелани и детей, оставляя все лишнее позади. Призвав всех собраться вместе, она направляется к ближайшему укрытию или месту, где они могут найти защиту от огня и войны. Этот вариант поведения был бы характерен для героини в случае расположения нуль-изоклин, как на рис. 6, с зоной, где отсутствуют пороги для двухвариантного развития событий, что так же представлено на рис. 5, а (зона 1). Расчёты на рис. 6 проводились для следующих параметров системы: $T_1 = -11$; $T_2 = -17$; $\overline{\gamma_{11}} = 30$; $\overline{\gamma_{22}} = 25$; $\overline{\gamma_{12}} = 30$; $\overline{\gamma_{21}} = 25$; $\varepsilon = 1$.

2. При изменении положения нуль-изоклин внешние условия окружающей среды, в которой находится живая система, соответственно, и её состояние также изменяются, что приводит к изменению её поведения. На рис. 7 представлена зона с двухвариантным развитием, но с переходным режимом, что также соответствует рис. 5, с (зона 1). В романе «Унесенные ветром» ситуация могла бы развиваться следующим образом: изначально, когда Скарлетт и Мелани вынуждены бежать с детьми из-за войны, Скарлетт чувствует ответственность за безопасность Мелани и детей. Она стремится обеспечить их защиту, принимая на себя руководящую роль в этой ситуации. Однако по мере того как опасность увеличивается, их путь становится все более опасным, и Скарлетт начинает осознавать, что ее собственная безопасность становится приоритетом. Данный эпизод

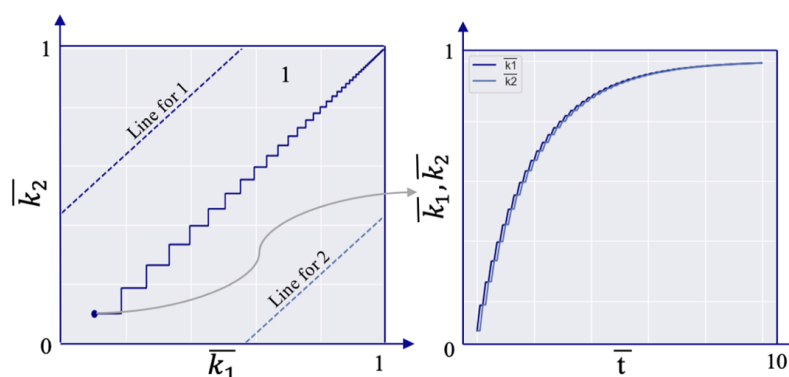


Рис. 6. Режим с двухвариантным развитием

Fig. 6. A mode with two-variant development

мог бы показать эволюцию характера Скарлетт, ее способность адаптироваться к экстремальным обстоятельствам и принимать трудные решения в условиях опасности. Она проходит через внутренний конфликт, связанный с балансированием между заботой о других и заботой о самой себе в условиях кризиса.

Расчёты на рис. 7 проводились для следующих параметров системы: $T_1 = -13$; $T_2 = -15$; $\bar{\gamma}_{11} = 30$; $\bar{\gamma}_{22} = 30$; $\bar{\gamma}_{12} = 50$; $\bar{\gamma}_{21} = 50$; $\varepsilon = 1$.

3. В данном случае Скарлетт, обладающая высокой самозащитной реакцией, решает действовать самостоятельно. Она не ждет помощи от Ретта Батлера или кого-либо еще, а быстро принимает решение о том, что нужно сделать. Скарлетт собирает только самое необходимое и берет детей за руки, чтобы убедиться, что они в безопасности. Она выбирает наиболее безопасный путь и спешит вместе с детьми к месту, которое она заранее определила как укрытие. Подобное развитие событий достоверно описывает вариант на рис. 8, в котором наблюдается резкий переход через порог.

Расчёты на рис. 8 проводились для следующих параметров системы: $T_1 = 1$; $T_2 = 1$; $\bar{\gamma}_{11} = 31$; $\bar{\gamma}_{22} = 85$; $\bar{\gamma}_{12} = 30$; $\bar{\gamma}_{21} = 30$; $\varepsilon = 1$.

4. Скарлетт, изначально испытывающая панику и страх, оказывается парализованной и неспособной принять решение. Она теряется в своих мыслях и не может сосредоточиться

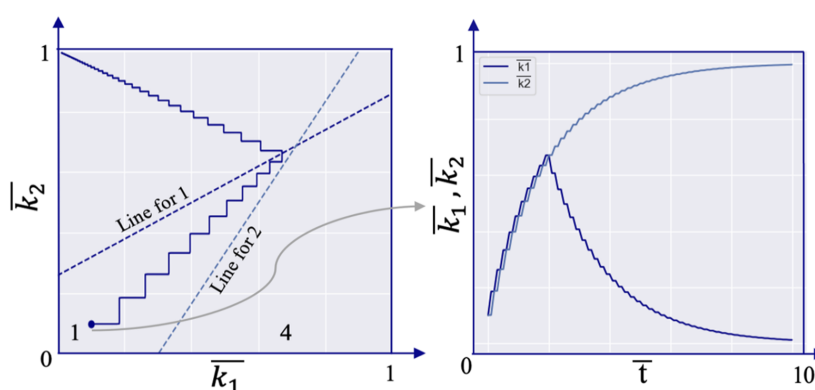


Рис. 7. Режим перехода от двухвариантного развития к одновариантному

Fig. 7. The mode of transition from two-variant to one-variant development

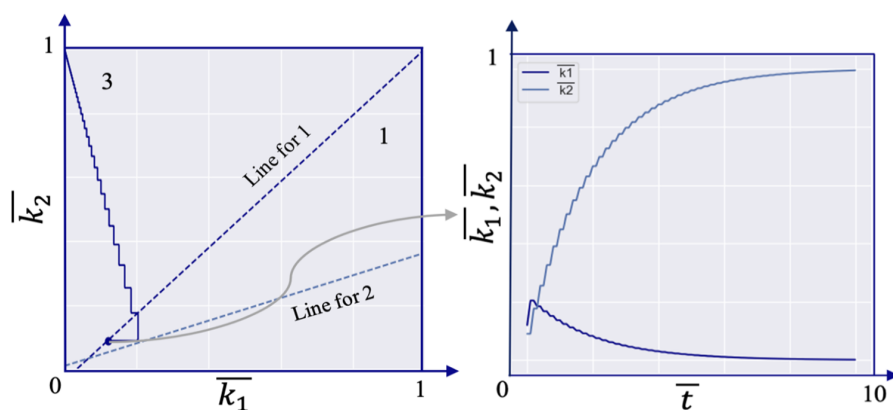


Рис. 8. Режим с одновариантным развитием после преодоления порога

Fig. 8. A mode with a single-variant development, after overcoming the threshold

на действиях. При появлении Ретта Батлера в Скарлетт вселяется надежда на спасение из этой ужасной ситуации. Исходя из рис. 9, можно сказать, что героиня смогла преодолеть порог запуска алгоритмов \bar{k}_2 для начала действия и вышла из «депрессивной» зоны, где невозможно развитие ни одного из заданных варианта поведения рис. 5 с (зона 2). Скарлетт начинает укладывать необходимые вещи в повозку для Мелани и её новорожденного ребёнка, проявляя заботу о них. Такое развитие событий точно соответствует описанному в романе и отражает реалистичный сюжет.

Расчёты на рис. 9 проводились для следующих параметров системы: $T_1 = -1$; $T_2 = -1$; $\bar{\gamma}_{11} = 30$; $\bar{\gamma}_{22} = 30$; $\bar{\gamma}_{12} = 50$; $\bar{\gamma}_{21} = 50$; $\varepsilon = 1$.

Изучая возможные сценарии развития сюжета, мы видим, что изменение положения нуль-изоклин и начального состояния живой системы могло бы привести к изменению хода событий в романе. Эти изменения порогов переключения (зависящие от реакций восприятия через «образный» канал, эмоционального состояния, текущего энергообеспечения) могли бы повлиять на выбор поведения главной героини.

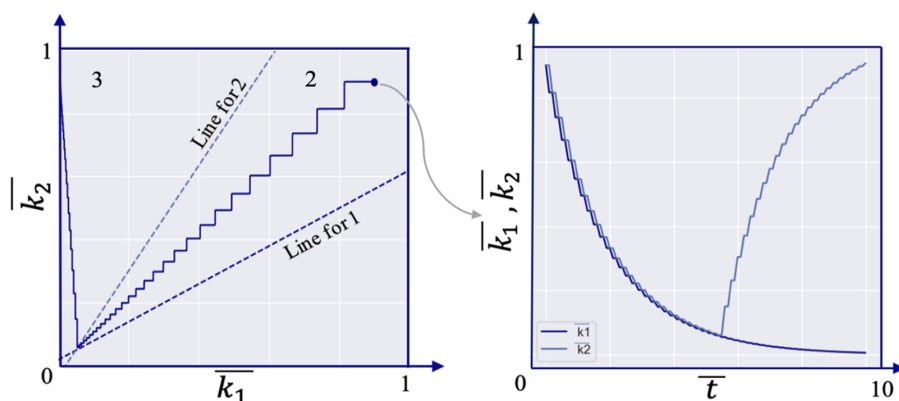


Рис. 9. Режим, в котором изначально возможности развития обоих вариантов поведения уменьшаются. После преодоления порога система выходит на одновариантное развитие

Fig. 9. A mode in which the possibilities for the development of both behavioral options are initially reduced. After overcoming the threshold, the system enters a single-variant development

Заключение и выводы

Таким образом, проведенное рассмотрение позволяет сделать следующие выводы.

1. На основе физической методологии исследований удастся предложить вариант перехода от иерархических схем управления к упрощенной базовой модели в виде дифференциальных уравнений, позволяющих рассматривать динамику приобретения или утраты индивидуального опыта в живых иерархических системах через изменение числа алгоритмов, вовлеченных в этот процесс.

2. Продемонстрировано, что такого вида уравнения адекватно описывают не только экспериментальные данные, связанные с обучением детей билингвизму [12, 13], но также применимы для более широкого спектра описаний режимов многозадачного функционирования живых систем (содержат не менее восьми типов режимов функционирования). Демонстрация адекватного описания процессов переключения между двумя режимами функционирования живой системы была выполнена на примере эпизодов из литературного произведения «Унесённые ветром» [18]. Полученные результаты закладывают основу для создания версий упрощенных языков, объясняющих разнообразие динамических режимов в иерархически организованных распознающих системах при попеременно решаемых ими задачах различного вида.

3. Существуют различные методы формирования версий упрощенных моделей и соответствующих им языков описания режимов переключений в живых системах. Например, подходы, разработанные М. И. Рабиновичем [23, 29], В. А. Лефевром [24, 25] и его учениками [26], ориентированы на упрощенные модели и соответствующий им язык описания. В данной работе представляется новый подход к описанию многозадачных режимов (различных операционных действий) в живых системах с использованием математического моделирования, основанного на функциональной системе П. К. Анохина. Высокая результативность такого подхода ранее была показана при анализе экспериментальных данных, наблюдаемых при обучении детей билингвизму [12, 13].

Упрощенное модельное описание ориентировано не только на лучшее понимание данных о поведении живых систем, но и открывает, по нашему мнению, новые горизонты для анализа и предсказания их функционирования в различных условиях. Работа с такими математическими моделями будет способствовать формированию языка для описания механизмов переключения, используемых живыми системами при решении ситуативных задач. В дальнейшем можно будет провести сравнительный анализ результатов, полученных здесь, в [12, 13] и, например, в работах [23–26, 29], для выяснения того, как разные исходные базисные подходы влияют на особенности изложенных ранее описаний. Из-за объемности такого рассмотрения мы вынуждены оставить такое сравнение за рамками данной статьи.

Список литературы

1. Анохин П. К. Теория функциональной системы как предпосылка к построению физиологической кибернетики // В кн.: Биологические аспекты кибернетики. М.: АН СССР, 1962. С. 74–91.
2. Анохин П. К. Теория функциональной системы // Успехи физиологических наук. 1970. Т. 1, № 1. С. 19–54.
3. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: Наука, 1980. 198 с.
4. Яхно В. Г. Модели нейроноподобных систем. Динамические режимы преобразования информации // В кн.: Нелинейные волны – 2002. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2003. С. 90–114.
5. Яхно В. Г. Нейроноподобные модели описания динамических процессов преобразования информации // VI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2004»: Лекции по нейроинформатике. Часть 1. М.: МИФИ, 2004. С. 136–150.

6. Яхно В. Г. Динамика нейроноподобных моделей и процессы «сознания» // VIII Всероссийская Научно-техническая конференция «Нейроинформатика-2006»: Лекции по нейроинформатике. М.: МИФИ, 2006. С. 88.
7. Яхно В. Г., Полевая С. А., Парин С. Б. Базовая архитектура системы, описывающей нейробиологические механизмы осознания сенсорных сигналов // В кн.: Когнитивные исследования: сборник научных трудов. Вып. 4. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2010. С. 273–301.
8. Яхно В. Г. Основные динамические режимы осознания сенсорных сигналов в нейроноподобных моделях: проблемы на пути к «нейроморфному» интеллекту // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2011. Т. 19, № 6. С. 130–144. DOI: 10.18500/0869-6632-2011-19-6-130-144.
9. Яхно В. Г., Макаренко Н. Г. Поможет ли нам создание «Цифрового двойника человека» лучше понимать друг друга? // В кн.: Подходы к моделированию мышления. М.: ЛЕНАНД, 2014. С. 169–202.
10. Yakhno V. G., Parin S. B., Poleyaya S. A., Nuidel I. V., Shemagina O. V. Who Says Formalized Models are Appropriate for Describing Living Systems? // In: Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research IV. NEUROINFORMATICS 2020. Studies in Computational Intelligence. Vol. 925. Cham: Springer, 2021. P. 10–33. DOI: 10.1007/978-3-030-60577-3_2.
11. Нуйдель И. В., Соколов М. Е., Кузнецова Г. Д., Яхно В. Г. Моделирование динамических процессов преобразования сенсорных сигналов в таламо-кортикальных сетях // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2011. Т. 19, № 6. С. 117–129. DOI: 10.18500/0869-6632-2011-19-6-117-129.
12. Александрова Н. Ш., Антонец В. А., Нуйдель И. В., Шемагина О. В., Яхно В. Г. Моделирование ряда особенностей формирования естественного билингвизма // Сб. научных трудов 21-ой Международной научно-технической конференции «Нейроинформатика-2019». Часть 1. Москва: Изд-во «МФТИ», 2019. С. 101–108.
13. Alexandrova N. Sh., Antonets V. A., Kuzenkov O. A., Nuidel I. V., Shemagina O. V., Yakhno V. G. Bilingualism as an Unstable State // In: Advances in Cognitive Research, Artificial Intelligence and Neuroinformatics. Intercogncsci 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1358. Cham: Springer, 2021. P. 359–367. DOI: 10.1007/978-3-030-71637-0_41.
14. Чернавский Д. С. Методологические основы синергетики и её применения // В кн.: Методологические основы синергетики и ее социальные аппликации: Материалы научного семинара. Вып. № 1. М.: Научный эксперт, 2010. С. 6–29.
15. Савостьянов Г. А. Теория разделения труда как основа развития в биологии и обществе. СПб.: Лема, 2023. 232 с.
16. ВП СССР. От корпоративности под покровом идей к соборности в Богодержавии. М.: МИМ - Московское издательство «МЕРА», 2015. 320 с.
17. Яхно В. Г., Парин С. Б. О методологии исследования когнитивных систем // Известия вузов. ПНД. 2022. Т. 30, №. 3. С. 257–260. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-257-260.
18. Митчелл М. Унесённые ветром. В 2 т. Т. 1 / Пер. с англ. Т. Озерской. Москва: Издательство АСТ, 2020. 704 с.
19. Уилбер К. Интегральная психология: Сознание, Дух, Психология, Терапия. М.: ООО «Издательство АСТ», 2004. 412 с.
20. Мольц М. Я – это Я, или как стать счастливым / Предисловие В. П. Зинченко, Е. Б. Моргунова. М.: Прогресс, 1991. 192 с.

21. Берн Э. Игры, в которые играют люди. Психология человеческих отношений. Люди, которые играют в игры. Психология человеческой судьбы / Под ред. М.С. Мацковского. СПб.: Лениздат, 1992. 400 с.
22. Шмидт Р., Тевс Г. Здоровье и медицина // В кн.: Физиология человека. М.: Мир, 1996. С. 834.
23. Рабинович М. И., Мюезинолу М. К. Нелинейная динамика мозга: эмоции и интеллектуальная деятельность // УФН. 2010. Т. 180, № 4. С. 371–387. DOI: 10.3367/UFNr.0180.201004b.0371.
24. Лефевр В. А. Алгебра совести. М.: Когито-центр, 2003. 426 с.
25. Лефевр В. А. Рефлексия. М.: Когито-центр, 2003. 496 с.
26. Анисимова С. А. Нелинейные модели теории рефлексивного управления // Известия вузов. ПНД. 2004. Т. 12, № 1–2. С. 96–113. DOI: 10.18500/0869-6632-2004-12-1-96-113.
27. Болотовский В. М., Левин М. Л., Миллер М. А., Суворов Е. В. Фарадей – Максвелл – Герц – Хевисайд... О согласованности функциональных специализаций мозга // Известия вузов. ПНД. 1996. Т. 4, № 2. С. 103–123. DOI: 10.18500/0869-6632-1996-4-2-103-123.
28. Психофизиология: Учебник для вузов / Под ред. Ю. И. Александрова. 5-е издание. СПб.: Питер, 2024. 528 с.
29. Рабинович М. И., Варона П. Нелинейная динамика творческого мышления. Многомодальные процессы и взаимодействие гетероклических структур // УФН. 2021. Т. 191, № 8. С. 846–860. DOI: 10.3367/UFNr.2020.09.038837.

References

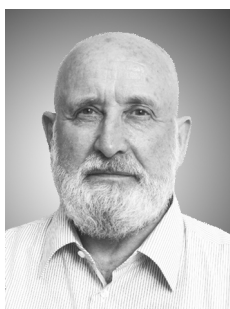
1. Anokhin PK. The theory of the functional system as a prerequisite for the construction of physiological cybernetics. In: Biological Aspects of Cybernetics. Moscow: ANSSSR; 1962. P. 74–91.
2. Anokhin PK. Theory of the functional system. Advances in Physiological Sciences. 1970; 1(1):19–54.
3. Anokhin PK. Key Issues of the Theory of Functional Systems. Moscow: Nauka; 1980. 198 p.
4. Yakhno VG. Models of neuron-like systems. Dynamic modes of information transformation. In: Nonlinear Waves – 2002: Materials of the School. Nizhny Novgorod: IAP RAS; 2003. P. 90–114.
5. Yakhno VG. Neuron-like models for describing dynamic information transformation processes. In: VI All-Russian Scientific and Technical Conference “Neuroinformatics-2004”: Lectures on neuroinformatics. Part 1. Moscow: MEPhI; 2004. P. 136–150 (in Russian).
6. Yakhno VG. Dynamics of neuron-like models and processes of “consciousness”. In: VIII All-Russian Scientific and Technical conference “Neuroinformatics-2006”: Lectures on neuroinformatics. M.: MEPhI; 2006. P. 88 (in Russian).
7. Yakhno VG, Polevaya SA, Parin SB. The basic architecture of a system describing the neurobiological mechanisms of awareness of sensory signals. In: Alexandrov YuI, Solovyov VD, editors. Cognitive Research: Collection of Scientific Papers. Issue 4. M.: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences Publishing; 2010. P. 273–301. (in Russian).
8. Yakhno VG. The main dynamic modes of awareness of sensory signals in neuron-like models: problems on the way to “neuromorphic” intelligence. Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics. 2011;19(6):130–144 (in Russian). DOI: 10.18500/0869-6632-2011-19-6-130-144.
9. Yakhno VG, Makarenko NG. Will the creation of a “Digital human double” help us to better understand each other? In: Redko VG, editor. Approaches to Modeling Thinking. M.: LENAND; 2014. P. 169–202. (in Russian).

10. Yakhno VG, Parin SB, Polevaya SA, Nuidel IV, Shemagina OV. Who Says Formalized Models are Appropriate for Describing Living Systems? In: Advances in Neural Computation, Machine Learning, and Cognitive Research IV. NEUROINFORMATICS 2020. Studies in Computational Intelligence. Vol. 925. Cham: Springer; 2021. P. 10–33. DOI: 10.1007/978-3-030-60577-3_2.
11. Nuidel I.V., Sokolov M.E., Kuznetsova G.D., Yakhno V.G. Modeling of dynamic processes of transformation of sensory signals in thalamo-cortical networks. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2011;19(6):117–129. DOI: 10.18500/0869-6632-2011-19-6-117-129.
12. Alexandrova NSh, Antonec VA, Nuydel IV, Shemagina OV, Yakhno VG. Modeling the Formation Features of Natural Bilingualism. In: Collection of Scientific Papers of the 21st International Scientific and Technical Conference “Neuroinformatics-2019”, Part 1. Moscow: Publishing House “MIPT”; 2019. P. 101–108.
13. Alexandrova NSh, Antonets VA, Kuzenkov OA, Nuidel IV, Shemagina OV, Yakhno VG. Bilingualism as an Unstable State. In: Advances in Cognitive Research, Artificial Intelligence and Neuroinformatics. Intercognsci 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1358. Cham: Springer; 2021. P. 359–367. DOI: 10.1007/978-3-030-71637-0_41.
14. Chernavsky DS. Methodological Foundations of Synergetics and Its Applications. In: Methodological Foundations of Synergetics and Its Social Applications. Materials of the Scientific Seminar. Vol. 1. Moscow: Scientific Expert; 2010. P. 6–29. (in Russian).
15. Savostyanov GA. The Theory of Division of Labor as the Basis for Development in Biology and Society. St. Petersburg: Lema; 2023. 232 p.
16. USSR VP. From Corporate Identity Under the Cover of Ideas to Sobornost in God’s Sovereignty. Moscow: Moscow publishing house “Mera”.
17. Yakhno VG, Parin SB. On the Methodology of Researching Cognitive Systems. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2022;30(3):257–260. DOI: 10.18500/0869-6632-2022-30-3-257-260.
18. Margaret Mitchell *Gone with the Wind*. Moscow: AST Publishing House; 2020. 704 p.
19. Wilber K. *Integral Psychology: Consciousness, Spirit, Psychology, Therapy*. Moscow: AST Publishing House LLC; 2004. 412 p.
20. Molts M. *I am Me, or How to Be Happy*. Moscow: Progress; 1991. 192 p.
21. Berne E. *Games People Play: The Psychology of Human Relationships; People Who Play Games: The Psychology of Human Destiny*. St. Petersburg: Lenizdat; 1992. 400 p.
22. Schmidt R, Tevs G. *Human Physiology*. Berlin: Springer; 1989. 825 p.
23. Rabinovich MI, Muezinolu MK. Nonlinear dynamics of the brain: emotion and cognition. *Physics Uspekhi* 2010;53(4):357–372. DOI: 10.3367/ufne.0180.201004b.0371.
24. Lefevre VA. *Algebra of Conscience*. Moscow: Cogito-Center; 2003. 426 p.
25. Lefevre VA. *Reflection*. Moscow: Cogito-Center; 2003. 496 p.
26. Anisimova SA. Nonlinear models of reflexive control theory. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 2004;12(1-2):96-113. DOI: 10.18500/0869-6632-2004-12-1-96-113.
27. Bolotovskiy VM, Levin ML, Miller MA, Suvorov EV. Faraday - Maxwell - Hertz - Heaviside... on the coordination of the functional specialization of cerebrum. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*. 1996;4(2):103-123.
28. Alexandrov YuI, editor. *Psychophysiology: A Textbook for Higher Educational Institutions*. 5th edition. St. Petersburg: Piter; 2024. 528 p.
29. Rabinovich MI, Varona P. Nonlinear Dynamics of Creative Thinking: Multimodal Processes and Interaction of Heterocyclic Structures. *Physics Uspekhi*. 2021;64(8):801–814. DOI: 10.3367/ufne.2020.09.038837.



Головина Алина Андреевна — родилась в Нижнем Новгороде (2000). В 2022 году окончила бакалавриат радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. С 2022 года студентка магистратуры радиофизического факультета кафедры теории колебаний и автоматического регулирования Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского. Научные интересы — математическое моделирование, психофизиология, нейронаука.

Россия, 603022 Нижний Новгород, пр-т. Гагарина, 23
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
E-mail: alinagolovina88@mail.ru



Яхно Владимир Григорьевич — родился в 1947 году. Доктор физико-математических наук. Заведующий лабораторией в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород). Научные интересы связаны с исследованием процессов самоорганизации в распределенных неравновесных системах и приложением автоволновых представлений для моделирования процессов обработки сенсорных сигналов, развития компьютерных алгоритмов кодирования сложных изображений (разработка биометрических систем); рассмотрением характерных процессов в модельных системах, имитирующих функционирование живых систем. Имеет более 200 научных публикаций (в том числе 2 монографии и 10 патентов).

Россия, 603022 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
Россия, 603950 Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46
Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова РАН
E-mail: yakhno@appl.sci-nnov.ru
ORCID: 0000-0002-4689-472X
AuthorID (eLibrary.Ru): 18659